

Панов В. И., Кандалов С. В.
ОАО «Уралмашизавод», г. Екатеринбург

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКЕ

Расширены представления тепловых процессов при газокислородной резке, которые имеют свои специфические особенности, по сравнению с электродуговой сваркой, по мере увеличения разрезаемой толщины (расчетные схемы – пластина, плоский слой, полубесконечное тело). В частности, в тепловом и материальном балансах необходимо учитывать влияние шлака, удаляемого из зоны реза.

Ключевые слова: газокислородная резка, тепловой баланс, большие толщины, рез вертикальный, рез горизонтальный, шлак, удаляемый металл.

В тяжелом машиностроении применяются разнообразные технологические процессы газотермической обработки материалов, при этом большое значение имеют тепловые процессы (предварительный, сопутствующий и послесварочный нагревы перед сваркой или резкой, местная термическая обработка, нагрев для очистки поверхности изделия, газопламенная правка и другие), которые имеют специфические особенности. Они частично отражены в классической работе [1], в методических указаниях [2], в учебниках [3], но не отражают всей полноты картины. Научная новизна настоящей работы заключается в более полном и глубоком понимании физических явлений, связанных с тепловыми процессами и их обобщением, особенно при разделительной резке металла большой толщины. Актуальность такого подхода вызвана необходимостью повышения качества выпускаемой продукции.

Полный тепловой баланс газокислородной резки представляется следующим выражением:

$$Q_{пп} + Q_{ом} + Q_{оп} = Q_{м} + Q_{м(г. ж+г. пр)} + Q_{м.ш} + (Q_{ш} - Q_{м.ш}) + Q_{г},$$

где $Q_{пп}$ – тепло, выделяемое подогревательным пламенем (рассчитывается, исходя из расхода горючего газа и его низшей теплотворной способности); $Q_{ом}$ – тепло, выделяемое при сгорании железа; $Q_{г.пр}$ – тепло, выделяемое при сгорании примесей в железе; $Q_{м.}$ – нагрев металла подогревающим пламенем; $Q_{м(г. ж+г. пр)}$ – нагрев металла сжиганием железа и примесей; $Q_{ш}$ – тепло, необходимое для нагрева сжигаемого металла до температуры воспламенения и для перегрева шлака до температуры, при которой он удаляется из разреза; $Q_{м.ш}$ – тепло, отдаваемое металлу шлаком, застывшим на кромках разрезанных частей металла; $Q_{г}$ – потери тепла с газами (унос перегретыми газами, потери на излучение, подогрев струи кислорода).

Анализ уравнения теплового баланса показывает, что доля отдельных составляющих существенно изменяется при увеличении толщины разрезаемого металла. Наглядно это представлено на рис. 1.

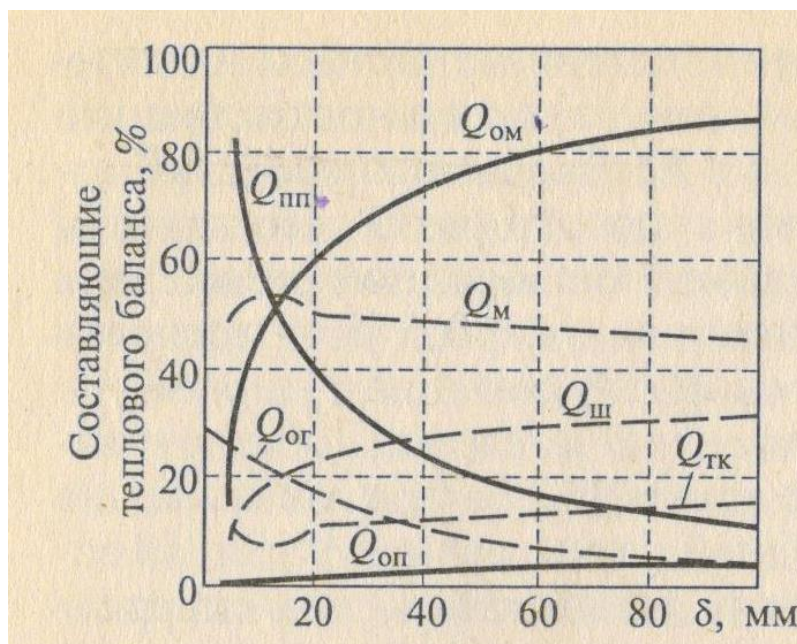


Рис. 1. Тепловой баланс процесса газокислородной разделительной резки [3]

где $Q_{пп}$ – доля теплоты вносимой подогревающим пламенем; $Q_{ом}$ – доля теплоты, образующейся вследствие окисления металла в резе; $Q_{оп}$ – доля

теплоты, образующейся вследствие окисления примеси металла в резе; Q_m – доля теплоты, расходуемой на нагрев металла; $Q_{ш}$ – на нагрев шлака; $Q_{ог}$ – нагрев отходящих газов; $Q_{тк}$ – на теплоизлучение поверхностью реза; ----- – поступление теплоты; - - - - – расход теплоты.

Подогревающее пламя нагревает поверхностные слои металла, которые затем контактируют со струей чистого кислорода и окисляются. Выделяющаяся при этом теплота совместно с теплотой подогревающего пламени постоянно нагревает за счет теплопроводности металл впереди резака до температуры его воспламенения в кислороде, обеспечивая непрерывность процесса. В зависимости от толщины стали изменяются доли участия этого фактора в тепловом балансе: чем меньше толщина разрезаемого металла, тем больше роль подогревающего пламени (при толщине 5 мм до 80 % общего количества теплоты, выделяемой при резке). Экспериментальные исследования показали, что при резке стали средних толщин (около 25 мм) на режимах, близких к оптимальным, составляющая тепла, получаемого металлом от подогревательного пламени $Q_{м.п} = 25\text{--}32\%$ от общего тепловложения, тепло от грата примерно 5 % и 63–70 % от сжигания самого металла ($Q_{м.г.ж}$).

При резке листов толщиной более 50 мм – доля подогревающего пламени составляет не более 10 %. Как правило, длина факела пламени не превышает 400–450 мм, поэтому подогревательное пламя служит только для стабилизации процесса горения. При резке больших толщин почти все тепло, получаемое разрезаемым листом (изделием), определяется реакцией горения сжигаемого в резе металла.

При обычных составах низколегированных сталей $Q_{г.пр}$ – тепло, выделяемое при сгорании примесей в железе дает увеличение общего теплового эффекта реакций горения металла на 2–4 %); $Q_{м.ш}$ – тепло, отдаваемое металлу шлаком, застывшим на кромках разрезанных частей металла (обычно 10–15 % $Q_{ш}$); $Q_{м.ш}$ – тепло, отдаваемое металлу шлаком, застывшим на кромках разрезанных частей металла (обычно 10–15 % $Q_{ш}$); Q_g – потери тепла с газами

(унос перегретыми газами, потери на конвекцию и излучение подогрев струи кислорода). Поскольку при резке низкоуглеродистой стали $Q_{г.ж} + Q_{г.пр} = 1,03 Q_{Fe}$ можно приближенно считать $Q_{м(г.ж+г.пр)} = Q_{м.г.ж}$.

При оценке тепловых процессов разделительной резки заготовок машиностроительных конструкций следует принимать расчетные схемы:

- пластина – разрезаемая толщина до 10 мм;
- плоский слой – разрезаемая толщина от 11 мм до 40 мм;
- полубесконечное тело – разрезаемая толщина свыше 40 мм.

Как правило, основным металлом сварных конструкций является низкоуглеродистая низколегированная сталь, при вырезке заготовок, из которых образование закалочных структур практически не происходит. Начальные условия определяются заданием закона распределения температур внутри тела в начальный момент времени, т. е. задаются одинаково для всех случаев резки – $T(x, y, z, 0) = \text{const} = 20^\circ\text{C}$.

В зависимости от толщины разрезаемого материала изменяются и граничные условия. В том случае, если газокислородная резка производится без подогрева и в небольших объемах, то можно считать, что охлаждение будет производиться только за счет отвода тепла в тело разрезаемой детали. Для резки пластин (листов) и, в какой-то степени, плоского слоя можно принять частный случай граничных условий второго рода, т. к. тепловой поток с поверхности вырезаемых деталей будет мал по сравнению с потоками внутри тела.

Когда же производится резка металла большой толщины, особенно, если она выполняется с предварительным (сопутствующим, послесварочным) подогревом, то снижение температуры разрезанного металла (процесс охлаждения) может происходить не только путем теплопроводности, но и за счет вынужденной конвекции, а в некоторых случаях и за счет лучистого теплообмена.

При разрезке металла большой толщины конвективный теплообмен будет выражен сильнее, поэтому следует принять граничные условия третьего рода.

Известно, что процесс газокислородной резки состоит из двух этапов: и собственно сам процесс резки после пуска струи режущего кислорода.

Расчетная схема первого этапа – начального нагрева подогревающим пламенем для всех случаев одинакова – источник теплоты является точечным и неподвижным. Однако, когда начинается процесс движение резака, источник теплоты становится подвижным, скорость его перемещения равна скорости разделительной резки. Если при резке пластины источник теплоты можно условно считать точечным, то при резке плоского слоя, и особенно, при резке металла большой толщины он трансформируется в линейный источник конечной длины, которая определяется толщиной вырезаемого изделия.

При разделительной резке металла большой толщины, а также при поверхностной резке (строжке) в тепловом балансе увеличивается роль шлака. При горизонтальной резке (например, прибылей) он остается на нижней кромке реза, при вертикальной резке он скапливается в виде грата на нижней плоскости разрезаемого листа.

При резке металла толщиной 300 мм и более в качестве источника теплоты выступают металл, удаленный из зоны реза, и шлак, которые скапливаются в месте реза. Такое воздействие приводит к обезуглероживанию поверхностных слоев и росту зерна.

Литература

1. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке: учебное пособие. М. : Машгиз, 1951. 296 с.
2. Королев Н. В. Расчеты тепловых процессов при сварке, наплавке и термической резке: учебное пособие. Екатеринбург : УГТУ. 196 с.
3. Полевой Г. В., Сухинин Г. К. Газопламенная обработка металлов: учебник. М. : ACADEMIA, 2005. 336 с.